

Examensarbete INES nr 315

VÄXTERS FENOLOGISKA SVAR PÅ ETT FÖRÄNDRAT KLIMAT

- MODELLERING AV KNOPPSPRICKNING
FÖR HÄGG, BJÖRK OCH ASP I SKÅNE



Foto: knoppsprickning hägg (Emelie Norhagen, 2014-04-28)

Emelie Norhagen

2014

Instutionen för

Naturgeografi och Ekosystemanalys

Lunds Universitet

Sölvegatan 12

S-223 62 Lund



Förord

Uppsatsen är skriven av Emelie Norhagen som examensarbete i ämnet Naturgeografi och Ekosystemanalys, Lunds universitet och omfattar 15 högskolepoäng.

Ett stort tack tillägnas min handledare, Cecilia Olsson, doktorand vid Lunds universitet, som gav mig ett fantastiskt stöd under hela arbetets gång. Jag vill även tacka Kjell Bolmgren, koordinator på det fenologiska nätverket i Sverige, som generöst överlämnat all historisk och nutida fenologisk data för hägg, asp och björk. Vidare "I acknowledge the E-OBS dataset from the EU-FP6 project ENSEMBLES (<http://ensembles-eu.metoffice.com>) and the data providers in the ECA&D project (<http://www.ecad.eu>)".

Abstract

Plants phenological events are influenced by the climate and the timing of budburst of trees is therefore an excellent indicator for climate change. According to research, temperature will most likely increase in future and with that follows an earlier budburst. In this study, budburst were simulated for bird cherry, birch and aspen in Skåne, in the southern part of Sweden, with two phenological models and future climate scenario RCP 8.5. The models used were "Thermal Time" and "Sequential" and are based on different theories about how plants react to temperature. The models were calibrated with historical data and evaluated with current data and then future budburst was simulated from 2008 to 2099 for all three species. The simpler model, Thermal Time, captured the spatial and internal variability in budburst better than Sequential in both the calibration and evaluation of cherry and birch. For aspen, it turned out, that Sequential simulated the budburst better than the Thermal Time. According to both model budburst is going to occur between 15 to 23 days earlier in 2099 than in 2008 depending on species and location. However Sequential simulated budburst about 20 days earlier than the Thermal Time model already in 2008. The study emphasizes that the temperature and day length are primary factors controlling budburst while the requirement of cold temperatures in order to meet a certain amount of rest is subordinate. For more reliable results the models may need to be supplemented with other theories and maybe have to be adapted more on a local level that take the individual observation in concern under the conditions that the study is based.

Key words: phenology, budburst, Thermal Time, Sequential, bird cherry, birch, aspen

Sammanfattning

Växternas fenologiska händelser påverkas av klimatet och tid för knoppsprickning hos träd kan därför användas som indikator på klimatförändringen. Enligt forskning kommer temperaturen med största sannolikhet att öka i framtiden och med det följer att växternas knoppsprickning förväntas ske tidigare. I denna studie har tidpunkten för knoppsprickningen för hägg, björk och asp i Skåne simulerats med hjälp av de fenologiska modellerna *Thermal Time model* och *Sequential model* som bygger på olika teorier och funktioner om hur växter reagerar på temperatur. Modellerna kalibrerades med historisk data och utvärderades med nutida data varefter en framtida knoppsprickning simulerades från 2008 till 2099. Den enklare modellen, Thermal Time, beskrev den rumsliga och mellanårsvariationen i knoppsprickningen bättre än Sequential i både kalibreringen och utvärderingen för hägg och björk. För asp visade det sig dock att Sequential simulerade knoppsprickning bättre än Thermal Time dock fortfarande med en väldigt dålig korrelation. Knoppsprickningen kommer enligt båda modellerna, för alla tre arter att sammanfattningsvis ske mellan 15 till 23 dagar tidigare år 2099 än 2008. Studien visar att knoppsprickningen i första hand styrs av temperatur och dagslängd medan växternas behov av kalla temperaturer för att uppfylla en viss mängd vila är underordnat.

Nyckelord: fenologi, knoppsprickning, Thermal Time model, Sequential model, temperatur, hägg, asp, björk

Innehållsförteckning

1. INTRODUKTION	7
1.1 SYFTE & HYPOTES	8
2. BAKGRUND & TEORI	9
2.1 STUDIEOMRÅDE & STUDIENS TRÄDARTER	9
2.1.1 Hägg (<i>Prunus padus</i>).....	10
2.1.2 Björk: Glasbjörk (<i>Betula pubescens</i>) & Vårtbjörk (<i>Betula pendula</i>).....	10
2.1.3 Asp (<i>Populus tremula</i>).....	11
2.2 FENOLOGI.....	11
2.3 FENOLOGISKA MODELLER	11
2.3.1 Thermal Time modellen.....	13
2.3.2 Sequential modellen.....	14
3. MATERIAL & METOD	17
3.1 DATA	17
3.1.1 Fenologiska Dataset.....	17
3.1.2 Temperaturdata.....	18
3.1.3 Framtida klimatscenario (2008-2099).....	19
3.2 KALIBRERING & SIMULERING AV MODELLER	20
3.2.1 Kalibrering.....	20
3.2.2 Framtidssimulering.....	22
3.2.3 Utvärdering av parametrarna och modellerna.....	23
4. RESULTAT	24
4.1 OBSERVERAD KNOPPSPRICKNING HÄGG	24
4.2 KALIBRERING	24
4.3 UTVÄRDERING AV MODELLER	25
4.4 JÄMFÖRELSE TEMPERATUR	26
4.3 FRAMTIDA KNOPPSPRICKNING (2008-2099)	27
5. DISKUSSION	30
5.1 FRAMTIDENS KNOPPSPRICKNING	30
5.2 VÄXTERS BEHOV AV TEMPERATUR OCH DAGSLÄNGD	30
5.3 UTVÄRDERING MODELLER OCH PARAMETERKOMBINATION	30
5.4 PARAMETRARNAS VÄRDEN	32
5.5 FÖRDELAR OCH NACKDELAR MED METODEN	33
5.6 FRAMTIDA STUDIER	34

6. SLUTSATS	36
7. REFERENSER	36
SKRIFTLIGA REFERENSER.....	36
ELEKTRONISKA REFERENSER.....	39

1. Introduktion

Den globala klimatförändringen har sedan mitten av 1900-talet varit ett uppmärksammat ämne, inte minst efter den första publiceringen av observerade och förväntade klimatförändringar av FN:s klimatpanel IPCC. Uppvärmningen vid jordytan beräknas, enligt klimatpanelens sammanställning, fortsätta stiga med mellan 1.4 och 5.8 °C vid jordytan från 1990 till 2100 beroende på vilken klimatmodell och utsläppsscenario som används (Bernes, 2003). Till följd av klimatförändringen har olika klimatindikatorer tagits fram och modeller utvecklats för att beskriva hur naturliga fenomen har och kommer att förändras, samt för att ge en större förståelse för olika biologiska processer. SMHI (2011) har till exempel tagit fram indikatorer i Sverige sedan 1961, som bland annat; årliga temperaturavvikelser, förändringar i havsvattenståndet, global strålning och vegetationsperiodens längd.

Observationer om växters fenologi, dvs. om växters biologiska tidsmönster, som till exempel när de olika tillväxtfaserna, så som lövsprickningen, blomningen och lövfällning, sker har observerats sedan 1300 år tillbaka (Sarvas 1974). Så långt som tillbaka till det åttonde århundradet har blomningen hos körsbärsträd och persikoträd noterats i Japan och Kina (Woodland Trust, 2014). Sedan slutet av 1900-talet har allt mer forskning inom området fenologi bedrivits (Menzel et al. 2008), och en anledning är att en förändring i växters fenologi kan användas för att indikera klimatvariationer i de nordliga ekosystemen (Barr et al. 2009). Vid ett förändrat klimat är det inte bara trädens tillväxt som förändras utan även trädens tillväxtcykel (Sarvas 1974). De fenologiska händelserna under våren har enligt Menzel och Fabian (1999) tidigare lagts med ca 6 dagar i Europa och lövfällningen senarelagts med ca 4.8 dagar, sedan början på 1960 talet. Vårtemperaturen har visat sig haft störst påverkan på lövskogars fenologiska mönster visar en studie gjord i västra Canada (Barr et al, 2009).

För att studera växters fenologi har ett flertal metoder använts och med nya teknologier har det blivit allt lättare att bedriva forskningen inom området. Beroende på syftet med studien, vilken växt som studeras och klimatförhållandet i studieområdet har olika metoder använts för att studera växters händelseförlopp (Castro-Diets et al., 2002). Carl von Linné uppmuntrade svenskarna under 1700-talet i ”Philosophia Bontanica” att samla in data över växters fenologiska händelser. Århundradet efter startades ett nätverk bestående av intresserade personer som samlade in

fenologiska observationer mellan 1873 och 1926 som nu finns samlade hos det Svenska fenologiska nätverket som startades 2008 (Dahl et al., 2008). Ett flertal statistiska modeller har utvecklats för att simulera växters fenologi, och framförallt de fenologiska händelserna under våren hos tempererade växter (Cleland et al., 2007). Andra metoder som också använts för att studera hur växter påverkas av klimatet är till exempel fjärranalys där en förändring i växters vegetation analyseras genom data från satelliter och flygplan (Cleland et al., 2007). Vidare så har växters fenologiska mönster studerats med hjälp av eddy-kovariansmätningar där turbulenta luftflöden mellan marken och atmosfären ger information som kan användas för att beräkna till exempel upptag och utsläpp av CO₂ som kan användas som en approximation för växtsäsongens början och slut (Barr et al. 2009).

1.1 Syfte & Hypotes

Syfte

Då tidigare forskning visat att växters fenologiska händelser under våren har tidigare lagts sedan mitten på 1900-talet har denna studie som avsikt att studera hur knoppsprickningen för hägg, björk och asp i Skåne län kommer att påverkas av temperaturökning fram till 2099. Knoppsprickning för respektive art kommer att simuleras utefter det framtida klimatscenarioet RCP 8.5, som är framtaget av Rossbys regionala klimatmodell RCA3. Studien har som mål att med hjälp av de två fenologiska modellerna *Sequential model* och *Thermal Time model* besvara följande frågor:

- a) Hur kommer knoppsprickningen att se ut fram till år 2099?
- b) Skiljer sig den simulerade knoppsprickningen i framtiden mot hur den observerade trenden har sett ut historiskt?
- c) Skiljer sig den simulerade knoppsprickningen mellan de fenologiska modellerna *Sequential model* och *Thermal Time model* och vad kan det i så fall bero på?

Hypotes

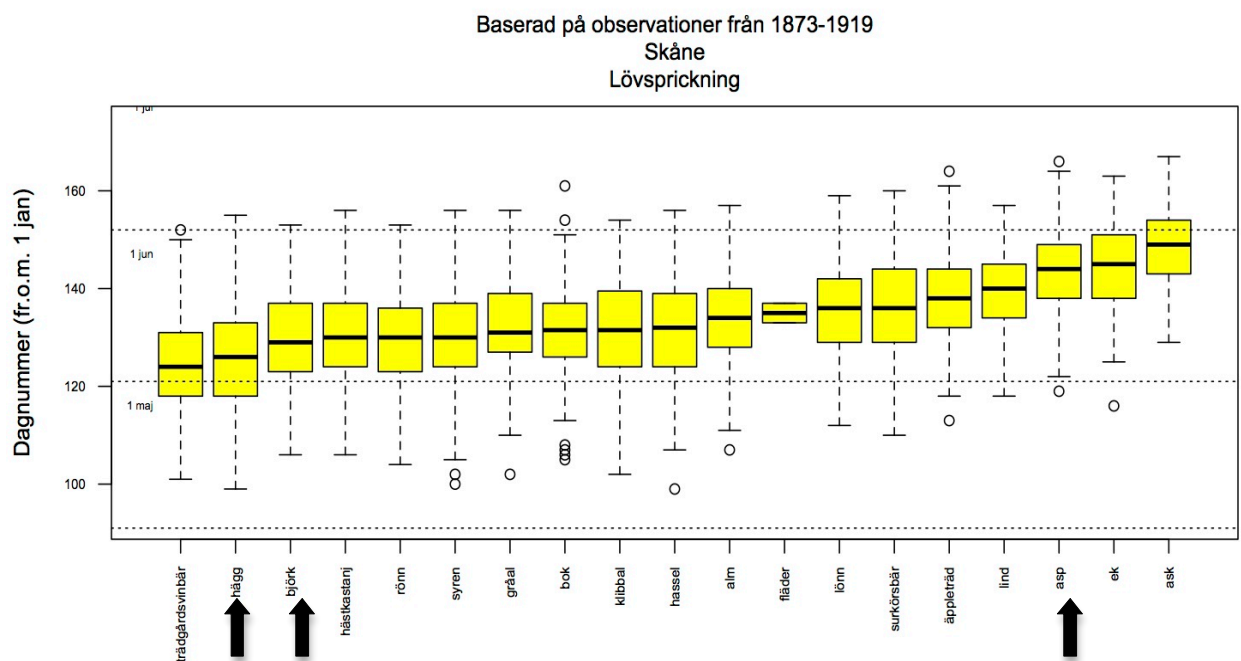
Modellerna kommer troligen simulera knoppsprickningen under våren tidigare för både hägg, asp och björk vid en ökning i temperatur. Då hägg och björk är två arter som har en tidig knoppsprickning jämfört med asp, antas ordningsföljden av deras simulerade knoppsprickning i framtiden att bli densamma. Den modell som förmodas simulera knoppsprickningen bäst är *Sequential* då den till skillnad från *Thermal Time* tar hänsyn till växters behov av vintervila för att

knoppsprickningen ska kunna ske. Thermal Time bygger istället på att en viss temperatursumma över en bastemperatur måste uppnås.

2. Bakgrund & Teori

2.1 Studieområde & studiens trädarter

Studieområdet är begränsat till Skånes län i södra Sverige (55.33 - 56.54°C Nord och 12.44 – 14.58°C Öst). Skåne har ett säsongsbaserat marint kust och inlands klimat som kännetecknas av kraftigare vindar, mindre nederbörd och temperaturvariationer. (SMHI, 2012). I figur 1 visas hur knoppsprickningen har sett ut mellan 1873 och 1919 för vissa trädarter, baserad på observationer i Skåne (Bolmgren, 2014).



Figur 1. Knoppsprickningen för när trädarter i Skåne har infallit under 1873 till 1919. Boxplottningen beskriver, knoppsprickningens medianvärde (mitten linjen), den övre och undre kvartilen som innehåller 50 % av värdena (box), maximum och minimum värdet (streck över och under) och eventuella avvikande värden (runda symboler) (Kjell Bolmgren, SLU/Svenska fenologinätverket).

Knoppsprickning som även beskrivs som lövsprickning definieras som den fas då hälften av bladen kommit ur trädets knopp, se E (figur 2) (Svenska fenologinätverket, 2014, 2014).



Figur 2. Utveckling av björkens knoppar, där E beskriver knoppsprickningen (lövsprickningen). Definitionen som använts för knoppsprickning är att hälften av bladen kommit ur trädets knopp (Svenska fenologinätverket, 2014).

Trädarterna hägg, björk och asp valdes på inrådan av Kjell Bolmgren, samordnare för det fenologiska nätverket i Sverige, då de tre arter kommer att ingå i en studie som indikatorer för klimatförändringen. Det är dessutom tre vanliga arter som skiljer sig en hel del åt och kräver olika förutsättningar vilket gjorde det intressant att titta på hur deras knoppsprickning skulle förändras i framtiden. Hägg och björk haft sin knoppsprickning relativt tidigt (kring dag 123 och 125) och asp haft sin knoppsprickning betydligt senare (kring dag 143) (figur 1).

2.1.1 Hägg (*Prunus padus*)

Hägg tillhörande familjen Rosaceae, förekommer på många ställen i Europa och Norra Asien (Watson, 2010) och i Sverige växer häggen i hela landet förutom på Öland och Gotland (Naturhistoriska riksmuseet, 1997). Häggen som är ett buskträd som vanligen blir omkring 5 meter men kan bli upp till 17 meter hög (SkogsSverige, 2012). Den växer gärna i lite fuktigare miljöer som i lundar och skogskärr (Naturhistoriska riksmuseet, 1997).

2.1.2 Björk: Glasbjörk (*Betula pubescens*) & Vårtbjörk (*Betula pendula*)

Björk som kan delas in i glasbjörk och vårtbjörk har varit väl etablerad över hela Sverige sedan inlandsisen smälte och är bland våra vanligaste trädarter i Sverige. Glasbjörken markerar trädgränsen i de skandinaviska fjällen och trivs att växa på fuktiga marker. Till skillnad från glasbjörken gillar vårtbjörken att växa på näringsrika marker som inte är allt för fuktiga. Vidare trivs björk med att växa där den får mycket ljus (SkogsSverige, 2012).

2.1.3 Asp (*Populus tremula*)

Asp är den enda art inom dess tillhörande poppelsläkte (*Populus*) som fritt förekommer i Sverige. Trädet växer gärna på mullrika sluttningar med ett rörligt grundvatten i närheten. Asp tål vinterkyla och vårfrost väldigt bra och är ganska ljuskrävande. Aspen tillhör det så kallade rikbarksträden vilket innebär att trädet är viktigt ur en ekologisk synvinkel för flora och fauna (SkogsSverige, 2012).

2.2 Fenologi

Barr et al. (2009) har beskrivit begreppet *fenologi* som säsongsbaserade förändringar i växters tillväxt och metabolism. De ingående processerna som sker hos växter, framförallt i de norra ekosystemen, påverkas främst av temperaturen visar studier (Barr et al., 2009, Sarvas, 1974). Kalla temperaturer under höst och vintermånaderna gör att trädet går i vila och varma temperaturer gör att trädet börjar utvecklas. Flera studier visar att vintervilan inte är en homogen fas utan består av flera olika tillstånd, som stegvis förändras. Vidare visar studier att det är mycket svårare att bryta vilan precis i början än i slutet, då vilan i början är djupare hos växten (Sarvas, 1974). Generellt beskrivs viloperioden som den fas då man med ögat inte kan se att någon aktivitet i trädens knoppar (Lang, 1987). Enligt både Wareing (1969) och Sarvas (1974) är den bakomliggande orsaken till varför knoppar förblir inaktiva både inre reglerade mekanismer och den yttre miljön, så som att temperaturen är för kall.

2.3 Fenologiska Modeller

Ett antal olika modeller har använts för att modellera fenologiska händelser (Hänninen, 1995, Schwartz, 1997, Chuine et al., 1998, Richardson et al., 2006). I denna studie används modellerna Thermal Time (TT) och Sequential (SEQ) som båda bygger på funktioner som beskriver hur trädet reagerar på temperaturen men på olika sätt (Hänninen, 1990). Grundprincipen som är lika för båda modellerna är att knoppsprickningen sker när den ackumulerade temperatursumman (S_{frc}) överskrider ett visst temperatursummebehov (F_{crit}). Vidare gäller det för båda modellerna att temperatursumma ackumuleras för dagar då temperaturen är över en viss bastemperatur (T_b) (Kobayashi et al., 1982, Kramer, 1994b). Modellerna skiljer sig i det avseendet att Thermal Time endast tar hänsyn till dagstemperaturen under senvinter och våren, medan Sequential bygger på att trädet måste ha uppnått en viss mängd kyla (chillingsumma) innan trädet kan reagera på varma temperaturer (Sarvas, 1974, Kramer 1994a). Istället för att en chillingsumma måste uppnås

kalibreras istället i Thermal Time, ett startdatum (t_2) från då trädet har möjlighet att börja reagera på temperaturen och då trädets behov av vila anses vara uppfyllt (Kramer, 1994b).

Hur knoppssprickningen utvecklas i modellerna delas ofta in efter två koncept som ekvationerna är uppbyggda kring (Sarvas, 1974, Fuchigami et al. 1982):

- 1) Hastigheten av knoppens simulerade utveckling (R): beskriver den dagliga temperatursumman och chillingsumman.
- 2) Tillståndet av knoppens simulerade utveckling (S): beskriver det tillfälliga tillståndet dvs. att den dagliga temperatursumman och chillingsumman ackumuleras.

Tabell 1. Tabellen visar de parametrar som används i modellernas ekvationer och definitionen av respektive parameter. Under kolumnen modell framgår vilken modell som innehåller vilka parametrar. SEQ, är förkortningen för Sequential modellen och TT för Thermal Time modellen.

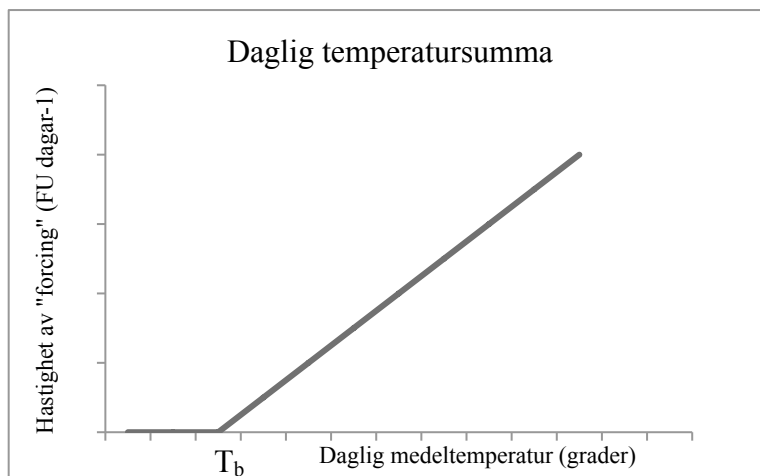
Parameter	Definition	Modell
t_1	Startdatum för höstvilan, dvs. då chillingsummans ackumulering börjar (dag)	SEQ
t_2 :	Startdatum för vintervilan dvs. då temperatursummans ackumulering börjar (dag)	TT
C_{crit} :	Chillingsummans kritiska värde, dvs. det värdet som måste vara uppfyllt för att det ska ske en övergång från perioden höstvilan till vintervilan.	SEQ
F_{crit} :	Temperatursummans kritiska värde, dvs. det värdet som måste vara uppfyllt för att det ska ske en övergång från vintervilan till den aktiva fasen.	TT & SEQ
T_{min} :	Minsta temperatur för chilling (C°)	SEQ
T_{opt} :	Optimal temperatur för chilling (C°)	SEQ
T_{max} :	Maximal temperatur för chilling (C°)	SEQ
T_b :	Bastemperatur, dvs. den temperatur som måste uppnås för att temperatursummans ackumulering kan börja (C°)	TT & SEQ TT & SEQ
K	Kompetensfunktionen som måste vara uppfylld för att modellen ska kunna genomföras	
a	Konstant	SEQ
b	Konstant	SEQ
c	Konstant	SEQ

Det går generellt sätt inte att säga vilken av de fenologiska modellerna som är bäst då det kan variera från olika arter, tidpunkter och utformande av studien. Det har visat sig genom olika studier att modeller fungerar olika bra beroende på art och lokal (Chuine et al., 1998). I nutida klimat har de enklaste modellerna visat sig ge bäst resultat trots att de inte varit de mest realistiska. Dessutom påverkar valet av parametrar modellernas resultat (Hunter och Lechowicz, 1992). De parametrar som ingår i modellernas funktioner är definierade i tabell 1.

2.3.1 Thermal Time modellen (TT)

Konceptet till modellen introducerades av Reaumur (1735) och utformades senare som modell av Channell & Smith (1983). Modell bygger på det som Wareings (1953) forskning visat, dvs. att viloperioden bryts av att dagarna blir längre, över en viss dagslängdströskel, och utan stressande faktorer skulle då början av dagslängdströskeln ske samma datum varje år (Kramer, 1994b). Det betyder att trädets behov, för att kunna övergå till en växande fas, redan har uppfyllts innan startdatumet (t_2) för tillväxten (Linkosalo et al., 2008).

Thermal Time har endast tre ingående parametrar; startdatumet på året (t_2), bastemperaturen (T_b) och den kritiska temperatursumman (F_{crit}) (tabell 1). Den dagliga temperatursumman (R_{frc}) är linjär mot den dagliga temperaturen förutsatt att den faktiska temperaturen (T) överstigit T_b (figur 3 och ekvation 2) (Kramer, 1994b).



Figur 3. Daglig temperatursumman (R_{frc}), i Thermal Time modellen, ökar proportionellt med temperaturen efter det att temperaturen överstigit bastemperaturen (T_b).

Då Thermal Time bygger på att ett startdatum (t_2) kalibreras för att ackumulerandet av temperatursumman ska kunna börja så antas chillingen som ingår i Sequential därmed redan vara uppnådd oavsett temperatur innan och är därför inte med i beräkningen. Att kompetensfunktionen, (K) är lika med 1 indikerar att startdatumet har passerats och att modellerna kan simulera trädets temperaturrespons (ekvation 1):

$$K = \begin{cases} 1 & t \geq t_2 \\ 0 & t < t_2 \end{cases} \quad (\text{ekvation 1})$$

Den dagliga temperatursumman (R_{frc}) sker som en funktion av T i förhållande till T_b (ekvation 2):

$$R_{frc} = \begin{cases} K(T - T_b) & T \geq T_b \\ 0 & T < T_b \end{cases} \quad (\text{ekvation 2})$$

Tillståndet för temperatursumman (S_{frc}) beräknas genom att R_{chl} summeras från starttiden för vintervilan (t_2) till den dagen då knoppsprickningens krav är uppfyllda (ekvation 3):

$$S_{frc} = \sum_{t_2}^t R_{frc} \quad (\text{ekvation 3})$$

Knoppsprickningen simuleras den dag när den ackumulerade temperatursumman (S_{frc}) först överstigit temperatursummebehovet (F_{crit}) (ekvation 4).

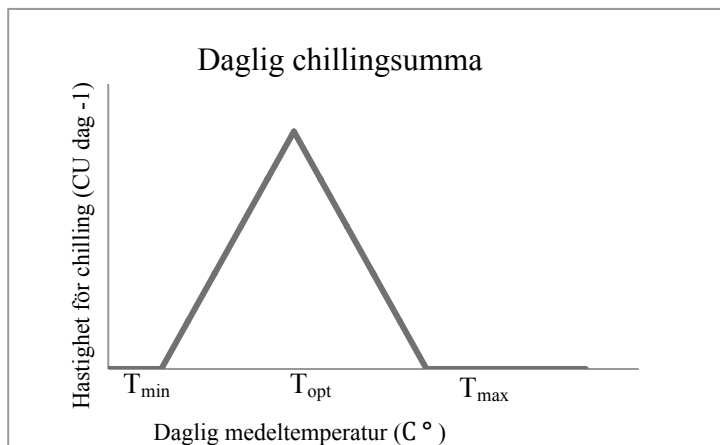
$$S_{frc} \geq F_{crit} \rightarrow \text{knoppsprickning} \quad (\text{ekvation 4})$$

2.3.2. Sequential modellen (SEQ)

Modellen formades av Sarvas (1974) och har fått sitt namn av modellens antagande att tillståndet då trädet vilar och då knoppsprickningen utvecklas sker sekventiellt i tiden, dvs. att faserna sker i tur och ordning efter varandra (Kramer, 1994b). Modellen bygger på de tre faser som Sarvas (1974) delade in växters fenologiska händelser i, och skiljer sig till skillnad från Thermal Time modellen,

mellan två olika typer av vila (höstvilan och vintervilan). Höstvilan, som vanligtvis infaller under hösten (Hänninen, 1990), är den period då knopparna är inaktiva pga. inre mekanismer hos växten och för att denna period ska kunna börja krävs kyliga temperaturer (Sarvas, 1974). Efter att knopparna exponerats för kallare temperaturer, som vanligtvis brukar ligga kring -5 till $+10$ °C, går knopparna enligt modellen in i nästa fas av vilan, dvs. vintervilan (Kramer, 1994b). Denna period innebär att knopparna enligt modellen förblir inaktiva pga. av den yttre miljön, så som vid för låga temperaturer. Under denna fas börjar knopparna gradvis att reagera på varma temperaturer (Sarvas, 1974). När knopparna slutligen blivit exponerade en tid för en temperatur (T) över en bastemperatur (T_b), har trädet uppnått förutsättningarna för att knoppsprickningen kan ske (Kobayashi et al 1982, Kramer, 1994b)

Modellen bygger på att två kritiska nivåer måste uppnås för att knoppsprickningen ska kunna ske, först den kritiska nivån för chillingsumman (C_{crit}) och sen den kritiska nivån för temperatursumman (F_{crit}) (Kramer, 1994b). Om inte C_{crit} uppnås kommer temperatursumman aldrig att ackumuleras och med andra ord kommer det inte att ske någon knoppsprickning (Linkosalo et al., 2008). Den dagliga chillingsumman (R_{chl}) ackumuleras på samma sätt som temperatursumman (R_{frc}) men efter de kriterier som gäller för chillingens temperaturer (T_{max} , T_{min} och T_{opt}) (figur 4 och ekvation 5).



Figur 4 Hastigheten av chillingsumman (dagliga chillingsumma) sker som en funktion av temperaturen. Vid en optimal temperatur, T_{opt} kommer ackumuleringen att ske som snabbast för att sedan avta mot T_{min} och T_{max} . Om temperaturen är över en maxtemperatur (T_{max}) eller under en minimitemperatur (T_{min}) antas trädet inte reagera

$$R_{chl} = \begin{cases} 0 & T \leq T_{min} \\ \frac{T - T_{min}}{T_{opt} - T_{min}} & T_{min} < T \leq T_{opt} \\ \frac{T - T_{max}}{T_{opt} - T_{max}} & T_{opt} \geq T < T_{max} \\ 0 & T \geq T_{max} \end{cases} \quad (\text{ekvation 5})$$

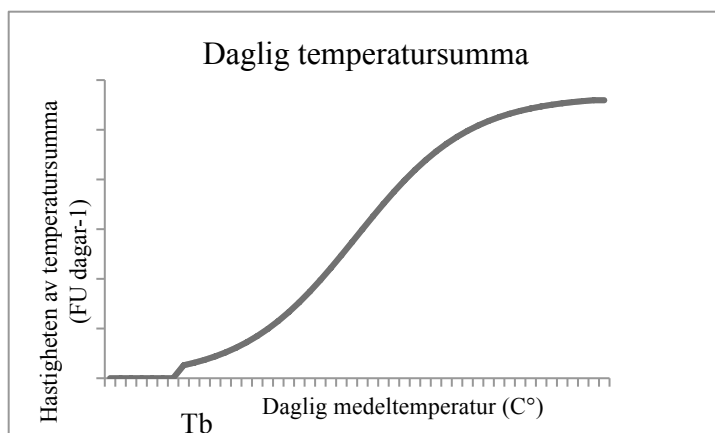
Tillståndet för chillingsumman (S_{chl}) beräknas genom att R_{chl} summeras från starttiden för höstvilan (t_1) till den tid då chillingsummans kritiska värde (C_{crit}) är uppfyllt (ekvation 6).

$$S_{chl} = \sum_{t_1}^t R_{chl} \quad (\text{ekvation 6})$$

Innan temperatursumman ackumuleras måste kompetensfunktionen, K , som beskriver knoppens potentiella svar på den drivande temperaturen, uppfyllas:

$$K = \begin{cases} 1 & S_{chl} \geq C_{crit} \\ 0 & S_{chl} < C_{crit} \end{cases} \quad (\text{ekvation 7})$$

När S_{chl} överskridit C_{crit} och T överstigit T_b kan R_{frc} ackumuleras (figur 5 och ekvation 6). R_{frc} är sigmoidal i Sequential till skillnad från i Thermal Time där den är linjär.



Figur 5 Hastigheten av temperatursumman (dagliga temperatursumma) beskrivs genom en exponentialfunktion av den dagliga temperaturen. Efter att temperaturen överstigit bastemperaturen, T_b , kan temperatursummans ackumulering börja.

$$R_{frc} \begin{cases} 0 & T \leq T_b \\ K \frac{a}{1 + e^{b(T+c)}} & T > T_b \end{cases} \quad (\text{ekvation 8})$$

S_{frc} i Sequential modellen beräknas på samma sätt som i Thermal Time modellen (ekvation 9):

$$S_{frc} = \sum_{t_2}^t R_{frc} \quad (\text{ekvation 9})$$

När den ackumulerade temperatursumman, S_{frc} , överskrider temperatursummans behov, F_{crit} , sker knoppsprickningen (ekvation 10):

$$S_{frc} \geq F_{crit} \rightarrow \text{knoppsprickning} \quad (\text{ekvation 10})$$

3. Material & Metod

3.1 Data

3.1.1 Fenologiska Dataset

I denna studie erhöles både de historiska (1873-1918) och nutida (2008-2013) observationerna över häggens, aspens och björkens knoppsprickning av Bolmgren (2014), samordnare för det svenska fenologiska nätverket. Observationerna var insamlade av både frivilliga och professionella observatörer. Datan var kvalitetsmärkt, i den historiska datan av observatören själv och i den nutida av nätverket. De personer som lämnade in uppgifter om de historiska fenologiska händelserna markerade "false" då de anade en viss osäkerhet och "true" om de var säkra på observationen. Alla observationer markerade med false togs bort innan den historiska datan användes. Vidare fanns en kolumn, "quality" i den nutida databasen där "0" innebar att datan kom från en anonym observatör och "1" innebar att det fanns kontaktuppgifter knuten till rapporten. För att kvalitetssäkra den nutida datan, på liknande sätt som med den historiska, togs därför alla observationer markerade med 0 bort. Det faktiska antalet observationer och antalet lokaler i Skåne som användes visas i tabell 2.

Tabell 2. Antalet observationer och lokaler som använts i studien.

Fenologisk data	Historiska observationer (1873 till 1918)			Nutida observationer (2007-2014)		
	Hägg	Asp	Björk	Hägg	Asp	Björk
Lokaler	29	30	35	30	8	41
Observationer	182	161	262	51	14	88

Historiska observationer (1873 till 1918)

De historiska observationerna användes för att kalibrera modellerna i syfte finna den bästa parameterkombination för respektive art och modell. Antalet historiska observationer som användes för hägg i var 182 stycken och antalet lokaler var 29 stycken mellan åren 1873 till 1918 (tabell 1). För asp användes 30 lokaler och 161 observationer. För björk användes 35 lokaler och 262 observationer.

Nutida observationer (2008 till 2013)

De nutida observationerna användes för att utvärdera modellerna. Antalet nutida observationer i Skåne som användes för hägg var 51 stycken och antalet lokaler var 30 stycken. För asp användes 14 observationer från 8 lokaler (tabell 2). För björk användes 88 observationer från 41 lokaler. För 8 observationer över björkens fenologiska händelser fanns två träd per koordinat inom samma lokal men med olika dagnummer för knoppsprickning. För de träden med samma koordinater beräknades därför medelvärde och användes i studien. Medelvärdet är de värde som är inkluderat i tabell 2.

3.1.2 Temperaturdata

Historisk temperatur (1872-1918)

Historisk temperatur saknades för samma år och platser som det fanns historiska fenologiska observationerna för, varför en temperaturserie för respektive lokal fick konstrueras med hjälp av metoder av Ramming et al. (2010). Daglig temperatur från en meteorologisk station i Lund erhöles från det svenska meteorologiska och hydrologiska institutet (SMHI). Klimatdatan var testad för homogenitet innan den erhöles för att kontrollera så att det inte fanns fel i datan orsakad av trender hos stationen (Steffensen, 1996). Temperaturserien rekonstruerades med hjälp av E-OBS dataset (1950-2010) genom att skillnader i amplitud och varians mellan E-OBS temperaturen för den närmsta gridcellen för de fenologiska observationsplatserna och den meteorologiska stationen i

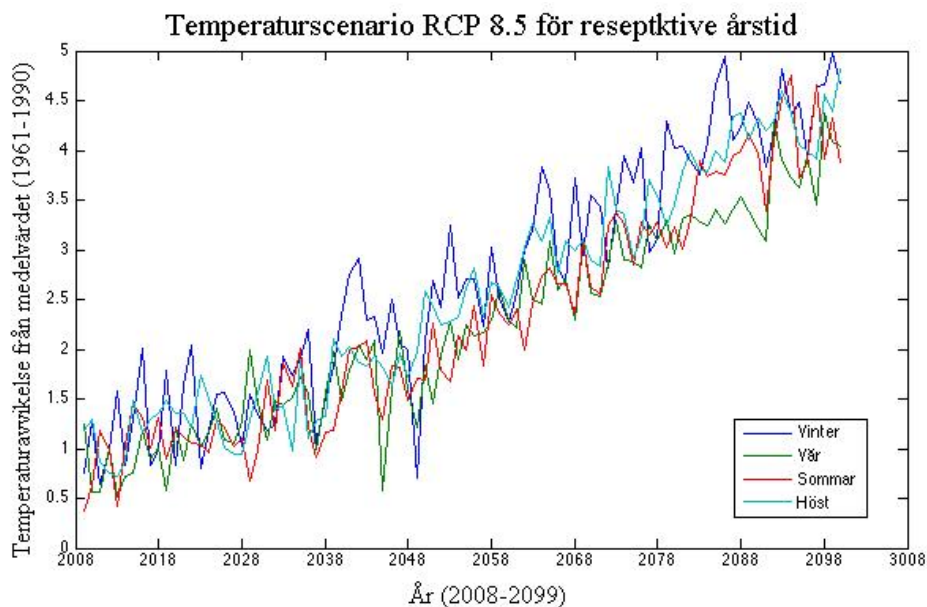
Lund jämfördes för att få fram den rumsliga och tidsmässiga skillnaden. Därmed kunde temperatur för respektive historisk fenologisk observation fås fram och användas som underlag i modellerna.

Nutida temperatur (2007-2014)

Den nutida temperaturen mellan 2007 och 2014 erhöles från European Climate and Assessment & Dataset (E-OBS) (Haylock et al., 2008). Daglig observerad medeltemperatur griddad på 25*25 km (0.22 grader) på roterat pol rutnät användes. E-OBS temperaturdata extraherades från närmsta gridpunkt för trädens lokaler med hjälp av deras koordinater (latitud och longitud).

3.1.3 Framtida klimatscenario (2008-2099)

Klimatscenariot RCP 8.5 mellan åren 2008 och 2100 hämtades från SMHI (2009). Klimatscenariot innefattade årliga temperaturavvikelser i förhållande till referensperiodens (1961-1990) medelvärde för varje säsong, vinter (december, januari, februari), vår (mars, april, maj), sommar (juni, juli, augusti) och höst (september, oktober, november) (figur 7). Scenariot baseras på medelvärdet från nio olika klimatmodeller där samtliga modeller går under scenario RCP 8.5. Upplösningen av datasetet är 50*50 km (0.44 grader) och visar inte någon rumslig variation i Skåne i och med att det är en större griddstorlek än E-OBS (SMHI, 2009).



Figur 6. Medeltemperaturens (°C) avvikelse från referensperiodens (1961 till 1990) temperaturmedelvärde för Skåne län, mellan 2008 till 2099 baserat på det framtida klimatscenariot RCP 8.5 för respektive årstid.

Enligt scenariot kommer temperaturen att öka med 4,67°C under vintern, 4,04°C under våren 3,88 °C under sommarmånaderna och 4,81°C under höstmånaderna, från referensperiodens (1961-1990) temperaturmedelvärde fram till år 2099 (figur 6). Då scenariot inte visade på den faktiska dygnstemperaturen vilket modellerna krävde, behövdes därför en temperaturserie med en faktisk dygnstemperatur konstrueras utefter scenariot. Temperaturserien skapades genom att scenariots temperaturavvikelse från 2008 och fram till 2099 adderades för respektive säsong på den redan framtagna E-OBS dygnstemperaturen för 2008 (ekvation 10). Men på grund av att SMHI (2014) använt sig av en avvikelse från medelvärdet från 1961 mellan 1990, subtraherades först avvikelsen den dagliga E-OBS temperaturen för 2008 med medelvärdet för temperaturen för 2008 för att få en utgångstemperatur. Därefter adderades temperaturavvikelsen och medelvärdet för temperaturen för referensperioden. På så sätt kunde dygnstemperaturen fås fram för alla år mellan 2008 och 2099 och knoppsprickningen kunde simuleras och jämföras med de år där knoppsprickningen har observerats och data samlats in (2008 till 2013).

$$T(\text{säsong}) = T(2008) - \text{medel}(T(2008)) + RCP(\text{säsong}) + \text{medel}(T(\text{ref})) \quad (\text{ekvation 10})$$

3.2 Kalibrering & simulering av modeller

Kalibreringen och simuleringen av båda modellerna kördes i MatLab R2014a (MathWorks Inc) och innan kontrollerades att observationerna följde en normalfördelning genom att de plottades i histogram. Efter att ha studerat datan i Excel och MatLab fanns vissa avvikande värden som eliminerades på grund av att de avvek med mer än 30 dagar från medelvärdet för samma år eller mer än 70 dagar från året innan eller efter för samma lokal. Sammanlagt togs en nutida observation (2008, dag 75) och en historisk (1879, dag 92) bort från hägg och två historiska observationer (1906, dag 92 och 1878, dag 94) bort från björk.

3.2.1 Kalibrering

Historisk temperatur (1872 till 1918) användes för att kalibrera modellerna tillsammans med de historiska observationerna (1873 till 1918). Anledningen till varför temperatur togs med även för år 1872 för den historiska datan var för att Sequential modellen även räknade med temperatur för året innan, från och med 1 november som är satt som startdatum för höstvilan. Den

parameterkombination (tabell 3) som gav den högsta korrelationen och det lägsta ”Root Mean Square Error” (RMSE) i kalibreringen användes senare i simuleringen (tabell 4).

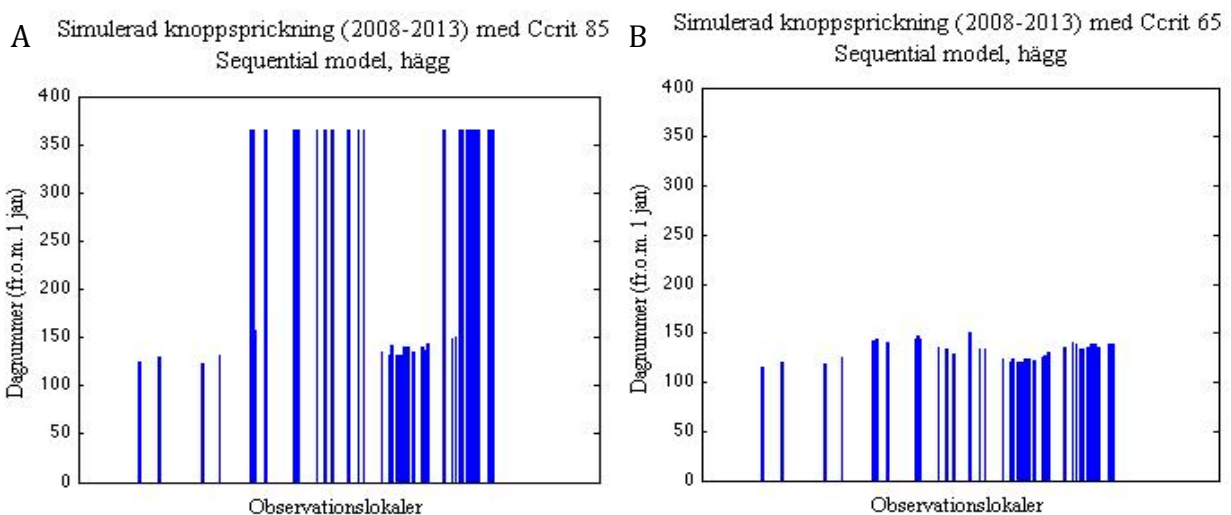
Utgångsvärdena för parametrarna i båda modellerna valdes från tidigare studier (Hänninen, 1990, Kramer, 2010, Sarvas 1974). Bastemperaturen kalibrerades i båda modellerna genom att värden mellan 0 till +5°C testades med 1 °C steg emellan. För att bestämma det kritiska värdet för temperatursumman (F_{crit}) testades värden mellan 20 och 300 med steg om 5 graddagar. För att kalibrera startdatumet för vintervila hos Thermal Time, testades värden mellan 8 till 60 med 4 dagars intervall. För Sequential modellen kalibrerades även det kritiska värdet för chillingsumman (C_{crit}) genom att värden mellan 20 och 200 testades med 5 graddagars steg emellan. Vissa parametrar antogs vara fasta; startdatumet för chillingsumman (t_1), T_{min} , T_{opt} och T_{max} och konstanterna a , b och c utgick från de värden som Hänninen (1990) använt (tabell 3).

Tabell 3 Tabellen visar de parmtervärden som användes i modellerna. TT står för Thermal Time och SEQ för Sequential.

Parametrar	TT Hägg	SEQ Hägg	TT Asp	SEQ Asp	TT Björk	SEQ Björk
t_1		92		92		92
t_2	60		60		60	
C_{crit}		65		65		65
F_{crit}	275	180	280	265	300	195
T_{min}		-3,42		- 3.4		-3.4
T_{opt}		3.5		3.5		3.5
T_{max}		10,4		10.4		10.4
T_b	1	0	3	0	1	0
a		28.4		28.4		28.4
b		-0,185		- 0.185		- 0.185
c		18,4		18.4		18.4

För Sequential modellen kalibrerades C_{crit} till 85 för alla arter. Men i simuleringen för 2008-2013, med ett C_{crit} på 85 lyckades modellen inte simulera knoppsprickningen för ca 40-50 % av lokalerna, för ca 30-40 % av åren för respektive lokal och erhöll i utvärderingen med de nutida observationerna ett högt RMSE värde (ca 44 dagar) (figur 7). För de år som modellens temperatursummebehov eller chilling behov inte uppfylldes bestraffades modellen med dag 365.

Anledningen till varför värdet 365 bestämdes som straffvärde var för att för att få ett resultat (r -värde) som kunde jämföras mellan båda modellerna, vilket förutsatte att lika många år simulerades som observerats. Hade värdet NaN bestämts som straffvärde så hade Sequential modellen kunnat få ett mycket bättre resultat än vad som teoretiskt skulle ha uppnåtts då värdena i simuleringen för de straffade lokalerna inte då skulle tas med i beräkning. Därför testades ett nytt kritiskt värde (C_{crit}) till dess att en nutida simulering fungerade utan att någon lokal straffades. Det värde som då erhöles var ett C_{crit} på 65 (figur 7). Därefter kalibrerades övriga parametrar i Sequential om för att erhålla de bästa värdena tillsammans med den nya C_{crit} värdet.



Figur 7. Simulerad knoppsprickning med Sequential för hägg ett C_{crit} på 85 (A) och ett C_{crit} på 65 (B).

3.2.2 Framtidssimulering

I simuleringen med framtidsscenariot användes den parameterkombination som genererade det lägsta RMSE värdet och den högsta korrelationen (tabell 3). Först simulerades knoppsprickningen för år 2008 till 2013 och jämfördes med observationer från samma år för att utvärdera med konkordans korrelation och RMSE. Därefter simulerades knoppsprickningen med det framtida klimatscenariot RCP 8.5 för åren 2008 till 2099. Modellerna visade då hur knoppsprickningen projiceras fram till år 2099 vid en temperaturhöjning som scenariot angivit (figur 6). Efter genomförandet av simuleringen jämfördes resultatet mellan de två modellerna, Sequential och Thermal Time för respektive art (hägg, asp och björk).

3.2.3 Utvärdering av parametrarna och modellerna

För utvärdering av både de ingående parametrarna och modellerna användes ”Root Mean Square Error” (RMSE) och Lins konkordans korrelation, ρ_c (NCSS, 2012). RMSE beräknar det genomsnittliga ”felet” mellan simulerad och observerad knoppsprickning. RMSE går från 0 till oändligheten, där 0 är det bästa möjliga värdet.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - Y_{model,i})^2}{n}} \quad (\text{Ekvation 11})$$

där: $X_{obs,i}$ är de observerade dagarna för när knoppsprickningen äger rum, $Y_{model,i}$ är de modellerade värdena för knoppsprickning och n är antalet observationer.

Konkordans korrelation, ρ_c , anger på samma sätt som Pearsons korrelation, relationen mellan två variabler, i detta fall den simulerade knoppsprickningen (Y_i) och den observerade knoppsprickningen (X_i). Värden mellan -1 och 1 kan antas där -1 anger den största negativa korrelation och 1 den största positiva korrelationen. Skillnaden mellan Pearsons korrelation och Konkordans korrelation är att Pearson korrelation inte tar med förskjutningen av trenden vilket konkordans korrelation gör. Detta betyder att en väldigt bra korrelation för Pearson kan erhållas även fast korrelationen är helt förskjuten till ett högre eller lägre y värde, varför konkordans korrelation användes istället.

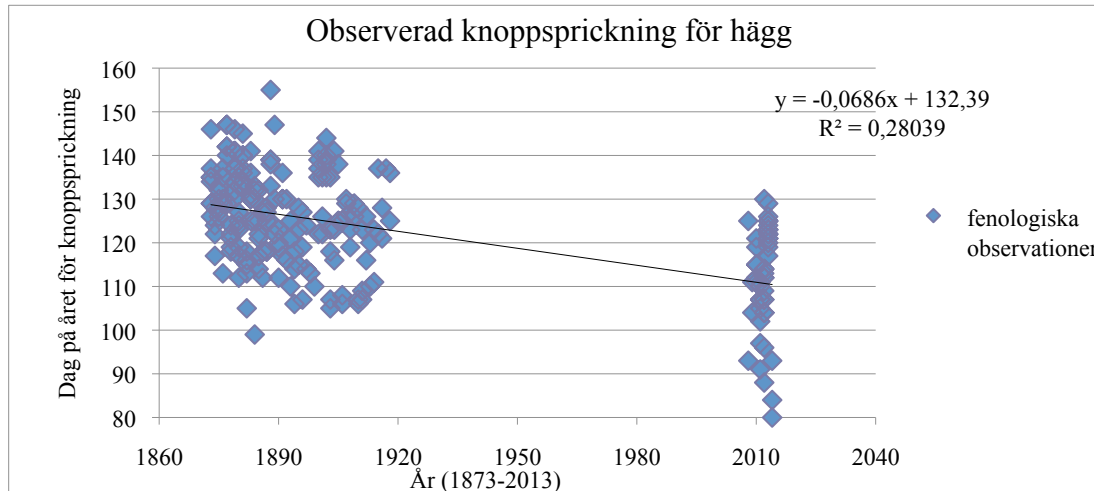
$$\rho_c = \frac{2\rho\sigma_x\sigma_y}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + (\mu_x - \mu_y)^2} \quad (\text{Ekvation 12})$$

där μ_x och μ_y är de två variablerna som utvärderas (den simulerade och observerade knoppsprickningen), σ_x och σ_y är deras motsvarande avvikelse/varians från medelvärdet och ρ är korrelationen.

4. RESULTAT

4.1 Observerad knoppsprickning hägg

Nutida (2008-2013) knoppsprickning sker generellt tidigare än vad den gjorde historiskt sett (1873-1918). I figur 8 visas trenden baserat på all data (nutid och historisk) för hur den observerade knoppsprickningen för hägg har sett ut. Enligt figuren har knoppsprickningen skett ca 20 dagar tidigare under tidsperioden från 1873 till 2013, från ett medelvärde på dag 133 (12 maj) år 1873 till ett medelvärde på dag 110 (20 april) år 2013. Determinationskoefficienten, $R^2 = 0,28$ vilket betyder att ca 28 % av variationen i knoppsprickning kan förklaras av faktorer som förändrats under tiden. Diagrammet visar även på den inbördes variationen mellan de observerade värdena för hägg.



Figur 8 Figuren visar hur knoppsprickningen har sett ut historiskt (1873-1918) och i nutid (2008-2013) för hägg som exempel mellan 1973 och 1949. En liknande trendlinje fås för björk och asp.

4.2 Kalibrering

Thermal Time fungerade bättre än Sequential i kalibreringen av parameterkombinationen för alla tre arter (tabell 4). Thermal Time gav det bästa RMSE värdet för hägg på 8.62 dagar och därefter för björk på 8.69 dagar. För hägg och björk var felet ungefär dubbelt så högt med Sequential modellen. För asp var skillnaden inte lika stor i kalibreringen mellan modellerna (RMSE = 19.99 med TT och 22.70 med SEQ).

Tabell 4. Utvärdering av parametrarnas värden i Thermal Time och Sequential.

Utvärderingsmetod	Thermal Time			Sequential		
	Hägg	Björk	Asp	Hägg	Björk	Asp
Kondordans korrelation	0.65	0.61	0.18	- 0.16	- 0.14	- 0.04
RMSE	8.62	8.70	19.99	17.09	15.76	22.70

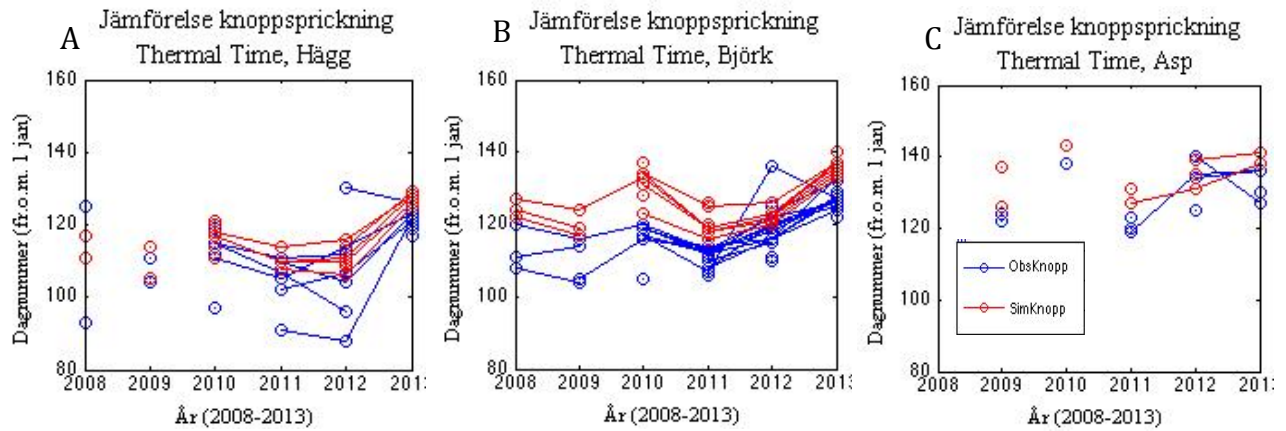
4.3 Utvärdering av modeller

Vid utvärdering av Thermal Time och Sequential gavs olika värden för RMSE och korrelationen för alla tre arter. Thermal Time visade på ett starkare samband mellan den simulerade och observerade knoppsprickningen mellan 2008 och 2013 för hägg och björk än vad Sequential gjorde. Det lägsta RMSE värdet (10.63 dagar) erhöles för björk. Simuleringen gjord med Sequential gav en sämre korrelation och RMSE värde för alla arter men visade på ett bättre RMSE värde för asp (16.18). För björk erhöles en korrelation på 0.01 vilket är väldigt dåligt.

Tabell 5. Utvärdering av Thermal Time & Sequential modellerna för simulerad knoppsprickning 2008 till 2014.

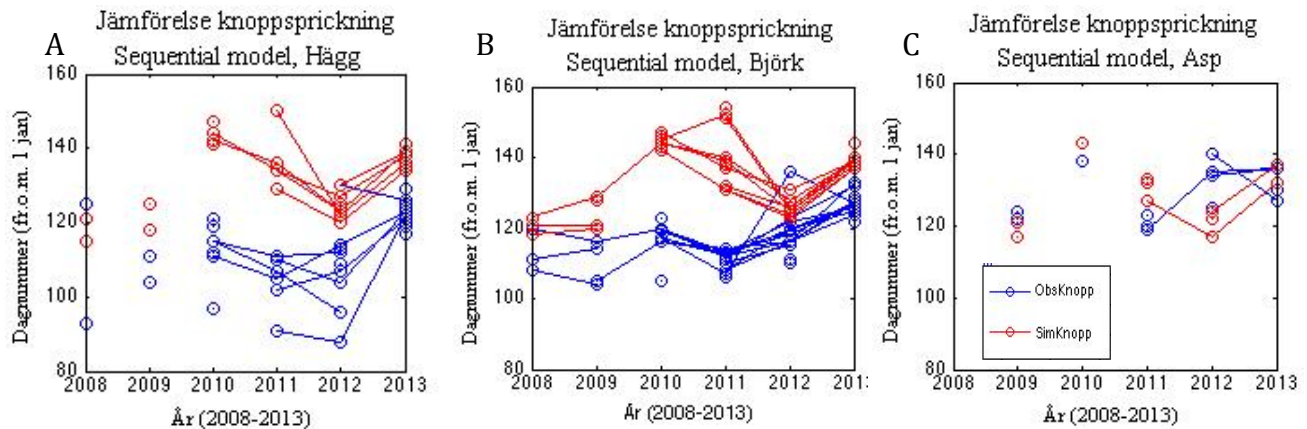
Utvärderingsmetod	Thermal Time model			Sequential model		
	Hägg	Björk	Asp	Hägg	Björk	Asp
Kondordans korrelation	0.13	0.11	0.17	0.04	0.01	0.03
RMSE	14.13	10.63	20.10	22.07	21.19	16.18

Vid en jämförelse mellan den simulerade och observerade knoppsprickningen med Thermal Time modellen framgår att knoppsprickningen har simulerats senare än den observerade knoppsprickningen för nästan alla observationer för både hägg, björk och asp (figur 9). För hägg och björk är den simulerade knoppsprickningens trend lik den observerade. För asp med färre observationer är det svårare att se hur väl trenderna av den simulerade och observerade knoppsprickningen stämmer.



Figur 9 Diagrammen visar en jämförelse mellan den observerade knoppsprickningen (ObsKnopp) och den simulerade knoppsprickningen (SimKnopp) för hägg (A), björk (B) och asp (C) mellan åren 2008 till 2013, med Thermal Time modellen.

Den simulerade knoppsprickningen framtagen med Sequential från 2008 till 2013 är även den senare för nästan alla lokaler än den observerade knoppsprickningen (figur 10). För både hägg, asp och björk ligger den simulerade knoppsprickningen längre ifrån den observerade än vad den gjorde med Thermal Time.

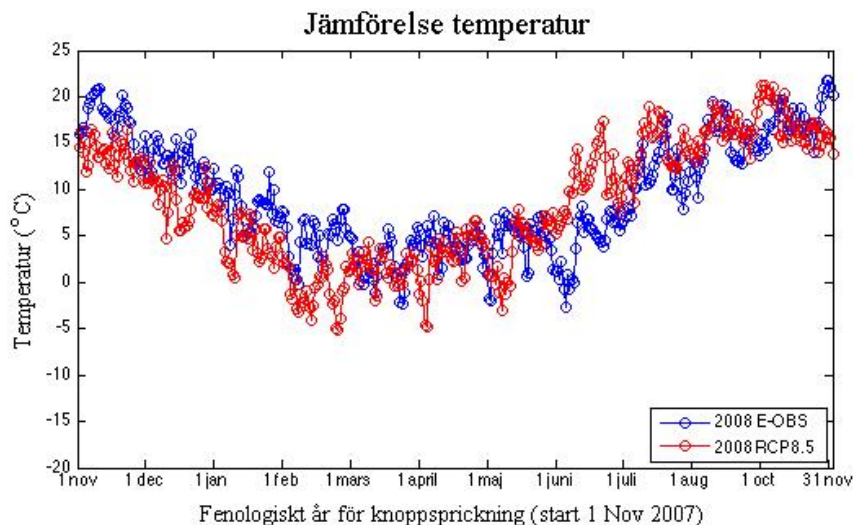


Figur 10 Diagrammen visar en jämförelse mellan den observerade knoppsprickningen (ObsKnopp) och den simulerade knoppsprickningen (SimKnopp) för hägg (A), björk (B) och asp (C) mellan år 2008 till 2013 med Sequential.

4.4 Jämförelse temperatur

Den konstruerade temperaturserien som skapades efter det framtida klimatscenariot med hjälp av E-OBS temperatur skiljer sig från med E-OBS temperaturen enligt figur 11. Diagrammet visar en jämförelse mellan temperaturerna för det fenologiska året som har sitt startdatum den 1 november.

Mellan månaderna november till april ligger den konstruerade temperaturserien ca 2-3°C lägre än E-OBS temperaturen, men efter april till sista november ligger den konstruerade temperaturserien istället ca 1-2°C högre än E-OBS temperaturen.



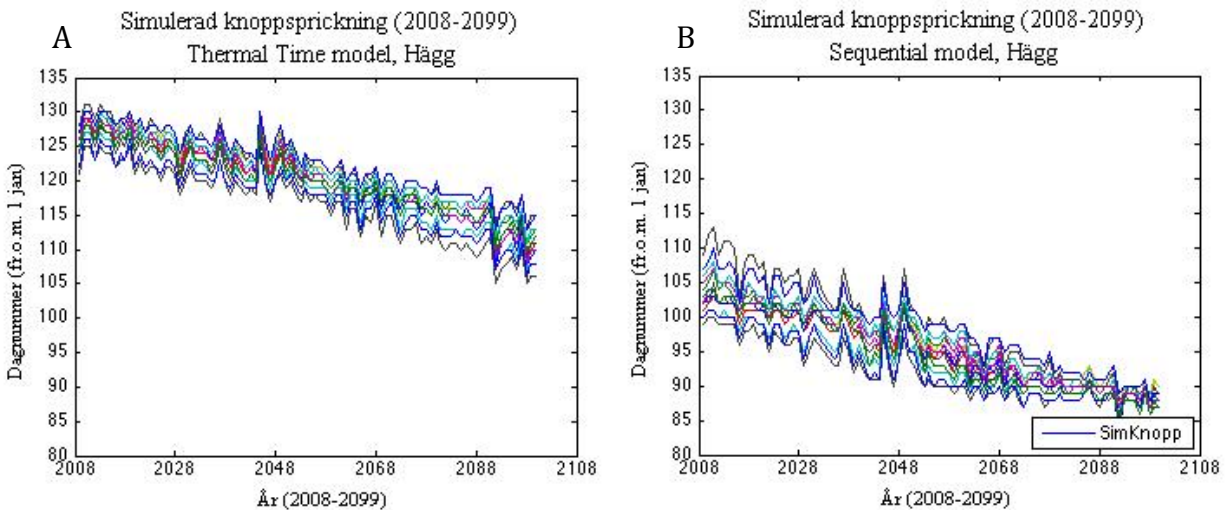
Figur 11 Jämförelse av temperaturen mellan den nutida E-OBS datan och den konstruerade temperaturserien utefter det framtida scenariot RCP 8.5.

4.3 Framtida knoppsprickning (2008-2009)

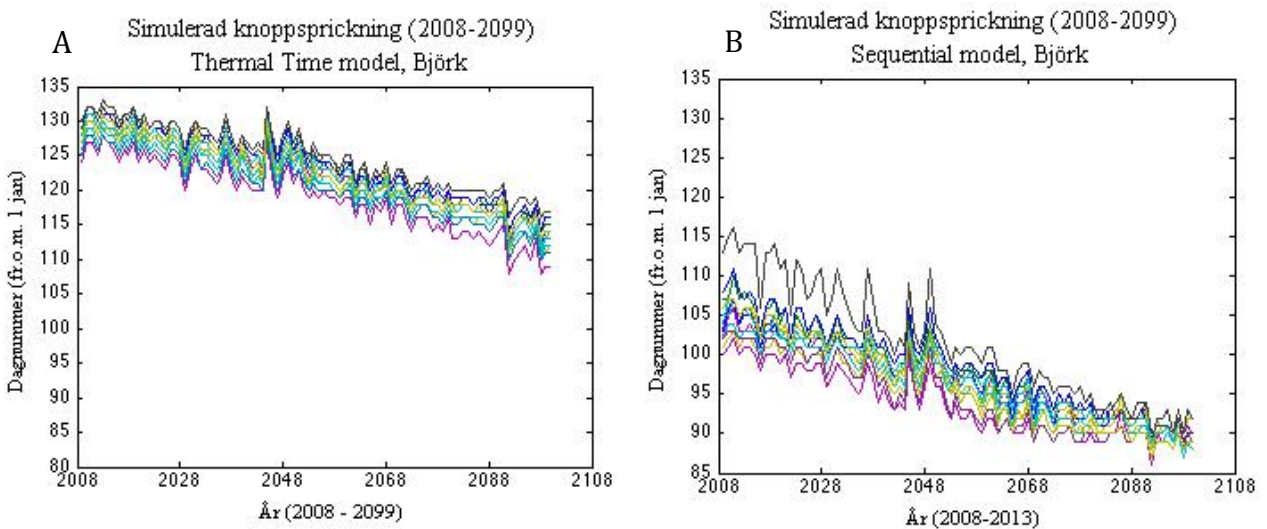
Den framtida knoppsprickningen simulerad med scenariot RCP 8.5, med båda modellerna för alla tre arter förväntas ske tidigare år 2009 än 2008 (figur 12, 13 och 14). Den simulerade knoppsprickningen för hägg med Thermal Time visar att knoppsprickningen år 2009 kommer att ske mellan dag 104 och 115 (14-25 april) beroende på lokal som studeras (figur 12A). Det är mellan 15 och 17 dagar tidigare än den simulerade knoppsprickningen för 2008. För asp kommer knoppsprickningen enligt modellen att ske mellan dag 110 och 117 (20-27 april), vilket är ca 13 till 17 dagar tidigare än den simulerade knoppsprickningen för 2008 (figur 13A). Vidare för björk har den framtida knoppsprickningen simulerats med Thermal Time att ske mellan dag 107 och 117 (17-7 april) och det är ca 17 dagar tidigare än medelvärdet för den simulerade knoppsprickningen för 2008 (figur 14A).

Simuleringen gjord med Sequential visar att knoppsprickning för hägg år 2009 kommer att ske mellan dag 87 och 91 (28 mars – 1 april) beroende på vilken lokal som studeras (figur 12B). Det är

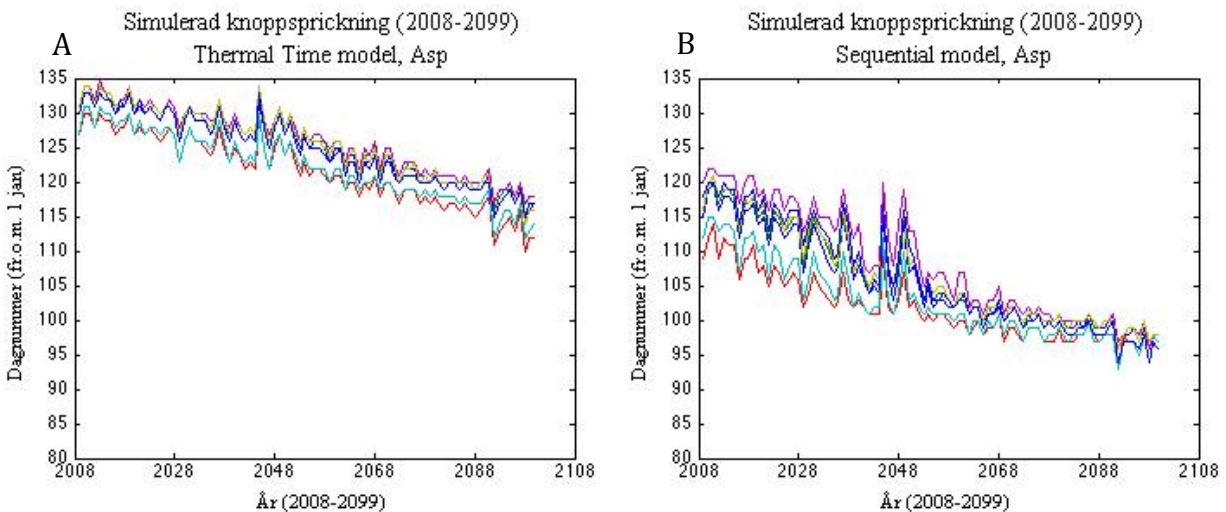
mellan 13 till 19 dagar tidigare för samma lokaler än den simulerade knoppsprickningen för 2008. För asp har knoppsprickningen simulerats mellan 19 och 27 dagar tidigare 2099 än 2008 (figur 13B). Sequential simulerade för björk en knoppsprickning som skulle inträffa kring dag 88 och 93 (29 mars-3 april) år 2099 (figur 14B). Det är mellan 13 och 19 dagar tidigare än den simulerade knoppsprickningen för 2008.



Figur 12. Knoppsprickning för hägg (2008 - 2099) med Thermal Time (A) och Sequential (B) utefter det framtidsscenariot RCP 8.5. Varje linje representerar de olika lokalerna men om två lokaler har simulerats med samma dagnummer infaller de under samma linje.



Figur 13. Knoppsprickning för asp (2008 - 2099) med Thermal Time (A) och Sequential (B) utefter framtidsscenariot RCP 8.5.



Figur 14. Knoppsprickning för björk (2008 - 2099) med Thermal Time (A) och Sequential (B) utefter framtidsscenarioet RCP 8.5.

Vid en jämförelse vid tiden för knoppsprickning år 2008 och 2099 framgår att för det flesta lokaler kommer knoppsprickningen enligt modellerna att ske mellan 15 till 17 dagar tidigare år 2099 än 2008, med undantag för asp där knoppsprickningen kommer att ske 23 dagar tidigare med Sequential (tabell 6).

Tabell 6. Tabellen beskriver skillnaden i den simulerade knoppsprickningens medelvärde för alla lokaler för respektive art mellan 2008 till 2099 med hjälp av båda modellerna. TT står för Thermal Time och SEQ för Sequential.

Simulerat år	Dag för knoppsprickning med TT			Dag för knoppsprickning med SEQ		
	Hägg	Asp	Björk	Hägg	Asp	Björk
2008	127	129	127	105	115	107
2099	110	114	112	90	92	90
Skillnad mellan 2008-2099	17	15	15	15	23	17

5. Diskussion

5.1 Framtidens knoppsprickning

Resultatet visar för alla tre arter med hjälp av båda modellerna att knoppsprickningen förmodas ske mellan 15 till 23 dagar tidigare år 2099 än år 2008. Med Sequential modellen har knoppsprickningen simulerats att infalla kring dag 90 och 92 (1-3 april) år 2099 för alla arter, vilket är ca 25 dagar tidigare än medelvärdet för den observerade knoppsprickningen år 2008. Vidare är detta ca 20 dagar tidigare än vad medelvärdet av den simulerade knoppsprickningen med Thermal Time visar. Thermal Time modellen å andra sidan visar också på en tidigare simulerad knoppsprickning (kring 5 dagar tidigare) redan 2008 än vad den observerade knoppsprickningen var. Anledningen till varför Sequential ligger så mycket tidigare än Thermal Time är troligtvis på grund av att modellens kriterier redan uppfyllts och därmed kan knoppsprickningen ske medan i Thermal Time måste först startdatumet (T_2) passeras.

5.2 Temperatur och dagslängd

Växters fenologi som bland annat innefattar den säsongsbaserade förändringen i växters tillväxt och metabolism (Barr et al., 2009) har genom studien visat sig påverkas av en förändring i temperaturen. Temperaturen är en av de huvudsakliga faktorer som påverkar anpassningen av växters fenologi men en annan viktig faktor är också dagslängden (Linkolsalo et al., 1998). I och med att det för Thermal Time kalibrerades fram ett startdatum för då trädet kan börja reagera på temperaturen, tas behovet av dagslängd indirekt med i modellen. I Sequential tas behovet av en viss dagslängd inte med i beräkningen, däremot tar modellen hänsyn till växtens behov av vila genom att chillingbehovet måste uppfyllas. Schaber et al. (2003) har, till exempel, visat på samma resultat, dvs. att chillingen är underordnad temperaturen när det kommer till att simulera växters fenologiska händelser.

5.3 Utvärdering modeller och parameterkombination

För alla tre arter erhöles olika RMSE och korrelationer i såväl kalibreringen (tabell 4) som simuleringen (tabell 5). Thermal Time gav bäst resultat i kalibreringen för både hägg, björk och asp jämfört med Sequential som gav högre RMSE för alla arter. Även i utvärderingen av modellerna gav Thermal Time ett bättre resultat för hägg och björk, men i utvärderingen av modellerna för asp ansågs Sequential vara bättre än Thermal Time. Med undantag med ett lägre RMSE för asp vid

utvärdering av Thermal Time stämmer därför inte hypotesen om att Sequential modellen borde ge ett bättre resultat än den enklare Thermal Time modellen med endast tre parametrar. Resultatet går även emot andra studier (Karmer, 1994) som visar att den modell som Sarvas (1974) utvecklade där han skiljer på två olika typer av vila, gav den bästa simuleringen om hur lövsprickningen kommer att se ut. Dock är det ett flertal studier som endast studerar de fenologiska händelserna under ett år eller hur de har sett ut historiskt och inte framåt i tiden som i denna studie varför ett annat resultat kan förväntas i denna.

Som framgår av resultatet erhöles andra korrelations och RMSE värden vid kalibreringen av parameterkombinationen än vid utvärdering av modellerna. Varför inte samma korrelation och RMSE värden erhöles kan bero på ett flertal faktorer som olika dataset har använts i kalibreringen och simuleringen. Vid kalibrering av parametrarna användes historiska observationer (1873-1918) tillsammans med en konstruerad temperaturserie (1872-1918) med daglig temperatur från en meteorologisk station i Lund, baserat på E-OBS temperaturdata. Vid utvärdering av modellerna användes istället nutida observationer (2008-2013) tillsammans med daglig temperatur från E-OBS (2008-2013). Vid en avvikelse i något av dataseten kommer då inte den simulerade knoppsprickningen exakt motsvara den observerade. Många av de observationer mellan 2008-2013 låg utanför området för kalibreringsdatan vilket såklart har påverkat resultatet.

Vid fler historiska observationer hade det varit möjligt att utvärdera med hälften av observationerna. Men i detta fall fanns för få observationer och trots att olika förutsättningar användes vid utvärdering av de kalibrerade värdena och de simulerade värdena ansågs det även bättre att utvärdera med nutida observationer då de ligger en bra bit senare än de historiska. Vidare för att dubbelkolla att det inte var något fel på den konstruerade temperaturserien som användes för simulering utefter framtidsscenarioet, jämfördes den med E-OBS temperaturen för 2008 och visade inte på några större avvikelser (figur 11). Temperaturscenarioet visar också att temperaturavvikelsen för vinter och vårmånaderna kring år 2048 minskar och vid jämförelse med den simulerade knoppsprickningen för samma år så framgår det att knoppsprickningen för dessa år har simulerats senare. Detta går i enlighet med den teori som Thermal Time och Sequential bygger på dvs. att vid temperaturökning under en längre tid kommer knoppsprickningen att ske senare och. Eftersom det både är temperaturen för vintern och våren som minskar så påverkas även Sequential modellen.

5.4 Parametrarnas värden

Modellering av växters fenologiska händelser kan anpassas efter den speciella art som studeras genom att parametrarnas värden anpassas i modellerna (Hänninen, 1990). Valet av parametrar vid kalibreringen har med andra ord stor betydelse och möjligheten att kunna korrigera parametrarnas värden anser jag både kan vara både till fördel och nackdel. I enlighet med Hänninen (1990) finner jag att det kan vara till sin fördel att det går att anpassa modellerna till olika arter i olika miljöer. Men å andra sidan kan det även vara en nackdel då modellerna inte är tillräckligt bra för att kunna på ett pålitligt sätt extrapoleras till andra lokaler och klimat.

Vid en närmare granskning över de parametrar som använts i modellerna har temperatursummans kritiska värde (F_{crit}) kalibrerats till ett betydligt högre värde med Thermal Time än med Sequential. Kalibreringen med Thermal Time resulterade i ett F_{crit} hägg på 275, asp på 280 och för björk på 300 medan med Sequential resulterat istället F_{crit} för hägg på 180, asp på 265 och för björk på 195. Bara genom att studera detta tillsammans med bastemperaturen (T_b) och startdatumen (t_1 och t_2) för de olika arterna kan slutsatsen dras att knoppsprickningen bör simuleras tidigare för hägg, asp björk vid användandet av Sequential modellen än vid användandet med Thermal Time modellen. Detta stämmer med resultatet av den simulerade knoppsprickningen utefter framtidsscenarioet för alla arter (figur 12, 13 och 14), där knoppsprickningen redan år 2008 har simulerats mellan 15 till 25 dagar tidigare med Sequential modellen. Anledning till varför chillingsummans kritiska värde (C_{crit}) fick justeras från 85 till 65 var för att Sequential modellen inte lyckades simulera knoppsprickningen utan straffades med dagnummer 365 för ca 40-50 % av lokalerna för ca 30-40 % av åren (figur 7). Varför modellen inte lyckades simulera med en chillingsumma på upp till 85 tros vara på grund av att temperaturen i kalibreringen var mycket kallare än temperaturen för scenarioet. Ökningen i temperatur mellan år 1918 till 2008 kan ha förändrat chillingsummans kritiska värde i modellerna så pass mycket att den minskat med 20 graddagar men då kalibreringen gjordes på den historiska temperaturen erhöles därför ett värde på 85. Med den metod som studien bygger på dvs. att parameterkombinationen först ska kalibreras fram för att sedan användas i simuleringen är detta sätt att gå in och ändra ett parametervärde inte rätt. Men då det inte gick att simulera knoppsprickningen valdes ändå att justera värdet och det är viktigt att ha detta i åtanke vid analysen av modellernas resultat.

5.5 Fördelar och nackdelar med metoden

Att använda sig av fenologiska modeller för att simulera knoppsprickningen har visat sig vara framgångsrikt inom flera studier och i många fall har modellerna genererat trovärdiga resultat (Sarvas, 1974). Den största fördelen med att använda sig av denna metod är att knoppsprickningen kan simuleras både bakåt och framåt i tiden och det är en relativt lätt metod att använda sig av. Fördelen med att använda två modeller, som i denna studie, istället för att använda en modell är att modellernas resultat går att jämföras sinsemellan och därmed ge ett mått på osäkerheten.

För de historiska observationerna har en relativt lång tidserie använts, mellan 1873 och 1918, vilket styrker kalibreringens och simuleringens trovärdighet. Men då en mycket kortare period av nutida observationerna erhöles (2008 till 2013) betyder det att utvärderingen av modellerna kanske inte är helt rättvis. Dessutom är variationen i den nutida datan mycket större vilket också påverkat resultatet negativt. Att de historiska observationer var insamlade från flera olika personer från flera olika platser i Skåne kan, vidare, både öka trovärdigheten för datan, till skillnad från om det bara några enstaka personer som tagit observationerna, då misstag och feltolkningar minskar. Men då det också innebär fler subjektiva bedömningar det kan det eventuellt leda till fler misstag. Då det är många privatpersoner som har bidragit med observationer är det också svårt att säga hur pålitlig datan är. Det är mest en fråga om hur observatören tolkat när dagen för knoppsprickningen sker. I många fall är det svårt att avgöra när 50 % av knopparna spruckit i trädet, eftersom att träd spricker knopp vid olika tidpunkter. De nutida observationerna är dessutom mycket färre för alla arter och därför ännu mera känslig för värden som rapporterats in fel. En annan viktig sak som påverkar modellernas trovärdighet är att studien endast bygger på temperaturen och inga andra faktorer. För förutom temperaturen styrs växters säsongscykel av en mängd andra faktorer så som fotoperiod, inkommande solstrålning, tillgången på fuktighet och näring (Gu et al., 2003) För dessa faktorer har altituden en indirekt påverkan genom att temperaturen varierar med altituden, att träd som växer på skuggsidan eller solsidan av en sluttning får olika förutsättningar och att vattentillgången blir annorlunda i sluttningar. Men då Skåne är ett relativt flackt landskap anses inte altituden ha någon större påverkan i denna studie. Tidigare studier har dessutom påvisat att det främst är temperaturen som påverkar de fenologiska händelserna (Sarvas, 1974, Kramer och Hänninen, 2009). Nederbörd och markvattenhalten har visat sig ha en snarare sekundär påverkan på den årliga netto ekosystem produktionen (Kramer och Hänninen, 2009). Därför borde modellerna som bygger på temperatur

ändå kunna användas för att simulera en trovärdig bild av växters knoppsprickning. Vid en jämförelse med mer komplexa modeller skulle ett mått på hur mycket andra faktorer spelar in kanske fås. Till exempel skulle man kunna mäta modellernas trovärdighet med hjälp av Akaike Information Criterion (AIC) som finner den modell som stämmer bäst överrens med sanningen under olika förutsättningar så som olika många ingående parametrar.

De fenologiska händelserna hos en växt varierar inte bara mellan olika arter utan även mellan individer inom samma art (Richardson et al., 2006). Detta är för att träd reagerar olika på till exempel temperatur och därför sker fenologiska händelser vid olika tidpunkter. Variationen är delvis genetisk men även knuten till den plats där trädet växer. Därför kan det också vara så att vissa av de rapporterade avvikande observationerna stämmer och att de inte bör ses som felkällor. Detta påverkar såklart modellerna i och med att det i studien gjorts en övergripande kalibrering av alla observationer i hela Skåne, tas ingen hänsyn till enskilda individer som kanske egentligen behöver sin egen kalibrering för att modellen ska fungera för just den platsen. För teoretiskt är modellerna utformade för att vara lokala och då studien gjorts för hela Skåne kan det vara så att den rumsliga variationen i observationerna inte tagits med i modelleringen. För till exempel representerar de inte gradienter exempelvis F_{crit} som behövs för att kunna modellera rumslig variation på ett pålitligt sätt.

5.6 Framtida studier

För framtida studier finns det mycket att forska vidare i inom växters fenologi. Till exempel hade det varit intressant att se hur andra modeller hade fungerat, så som *Parallell model* som innebär att den ackumulerade chillingsumman och temperatursumman sker parallellt (Kramer, 1994b). Detta hade inneburit att trots att chillingsumman inte uppfyllts så hade den dagliga temperatursumman kunnat börja ackumuleras och därmed hade kanske ett bättre resultat uppnåtts utan några lokaler straffades så som vid en kritisk chillingsumma på 85 med Sequential. Det hade även varit intressant att titta utifrån ett annat scenario än RCP 8.5. Vidare hade en framtida knoppsprickning kunnat studeras med hjälp av andra metoder, så som med eddy- kovarians mätningar, som mäter skillnaden mellan fotosyntesen och ekosystems respiration (NEE) eller till exempel tillammans med fjärranalys studier. Studien hade kunnat utökas till andra områden än bara i Skåne då det från det fenologiska nätverket finns observationer över nästan hela Sverige. Hur stort är modellfelet mellan olika delar av landet dvs. mycket kommer skillnaden mellan den simulerad och observerad

knoppsprickning att variera mellan norra och södra Sverige? Dock finns det en svårighet att utvidga modellerna till regional och global skala eftersom att fenologin hos växter är starkt kopplat till individens genetiska uppsättning och att det finns stora skillnader som finns mellan olika arter och populationer (Chuine et al., 2000). Med fler nutida observationer skulle man även kunna kalibrera och simulera modellerna med nutida observationer för att få bort osäkerheten i datan som uppstår i tidsskillnaden mellan de historiska och nutida dataseten.

5.7 Effekter av en tidigare knoppsprickning

Resultatet som visar att knoppsprickningen kommer att tidigareläggas vid ett varmare klimat, tror jag kan få övervägande negativa konsekvenser och en del positiva följder. För många arter innebär en tidigare knoppsprickning till följd av en varmare temperatur att växten får en längre tillväxtperiod förutsatt att växtsäsongen också slutar senare, vilket kan ses positivt utifrån ekosystemens nettoproduktion. Men med en tidigare knoppsprickning följer också att träden löper större risk att drabbas för frostsador. Lövträd i de boreala skogarna är känsliga för vårfröst då det till exempel kan bli skador på trädets knoppar eller innebära senare knoppsprickning och möjligheten för trädet att kunna fotosyntisera fullständigt minskar. Hur stor effekten blir av vårfrosten beror på stadiet av knoppen. Ju närmre växten drabbas av frost då knoppsprickningen ska ske ju större risk löper trädet att drabbas för skador (Kramer och Hänninen, 2009). Vidare så kan ett varmare klimat och därmed en tidigare knoppsprickning leda till att trädet drabbas av nya sjukdomar och skadedjur (Bernes, 2003). Att trädet måste uppfylla en viss mängd kyla, så som Sequential modellen bygger på anser jag därför i teorin är rätt men modellen behöver förbättras för att ge ett trovärdigt resultat. Det behövs även mer forskning kring processerna som styr knoppsprickningen för att kunna utveckla nya modeller som fungerar bättre. Få arter hinner också med att anpassa sig eller förflyttas vid en så hastig uppvärmning som RCP 8.5 scenariot visar (Bernes). Skogsgränsen i våra svenska fjäll kommer troligen att förskjutas till högre altituder vilket kommer att leda till att många av de alpiska arterna försvinner då de inte kan växa i ett varmare klimat (Bernes, 2003). En tidigare knoppsprickning innebär också att vissa arter kommer att slå ut andra varför jag framöver tror att vi kommer att få se nya arter i både södra och norra Sverige. Inom till exempel skogsbruket anser jag att kunskap om växters fenologiska anpassningar är viktigt att ta hänsyn till för att kunna anpassa bruket efter arter som kommer att vara mest gynnsamma i framtiden. Jag ser det därför som ytterst viktigt att fortsätta utveckla och bedriva forskning om hur växters fenologiska händelser, inte bara knoppsprickning, påverkas av en klimatförändring.

6. Slutsats

Resultatet från studien visar att knoppsprickningen i framtiden förväntas ske tidigare för hägg, björk och asp, enligt både simulering med Thermal Time modellen och Sequential modellen. För alla tre arter har knoppsprickningen simulerats mellan 15 och 23 dagar tidigare år 2099 än 2008 beroende på lokal, art och modell. Båda modellerna har sina för och nackdelar, men med de förutsättningar som studien grundade sig på visade det sig att Thermal Time lyckades simulera en mer trovärdig knoppsprickning utefter framtidsscenariot RCP 8.5 då modellen gav ett lägre RMSE värde och en starkare korrelation mellan den simulerade och observerade knoppsprickningen för både hägg och björk. För asp genererades ett gav Sequential ett bättre resultat, dock så pass dåligt ändå att detta vilket troligtvis beror på för få observationer att kalibrera och utvärdera med. Detta betyder att under de förutsättningar som studien grundades på finns inget behovet av en chillingsumma för att kunna simulera trädets knoppsprickning. Behovet av en viss mängd dagslängd anses vara den näst viktigaste faktorn efter temperaturen då den indirekt finns med i Thermal Time. Viktigt är dock att punktera att resultatet i studien endast är en modell av hur knoppsprickningen förväntas se ut i framtiden och visar inte på verkligheten. Då växters säsongscykel är mycket komplex och modellerna är utformande på individnivå är det svårt att få ett bra resultat som visar på verkligheten i lokal skala. Vidare bygger modellerna endast på temperaturen, den som många studier visat är den primära faktorn och utesluter en mängd andra faktorer som kan påverka trädarternas fenologiska händelser, så som mängden närings och vatten. Men då andra studier visat att temperaturen varit den primära faktorn antas ändå modellerna kunna simulera en trovärdig knoppsprickning. Med fler modeller, jämförelser med fler arter och hänsynstagande till andra viktiga processer hos växter hade kanske ett mera tillförlitligt resultat uppnåtts.

7. Referenser

Skriftliga referenser

- Barr, A., T. A. Black, and H. McCaughey. 2009. *Climatic and Phenological Controls of the Carbon and Energy Balances of Three Contrasting Boreal Fohöstvila Ecosystems in Western Canada.*
- Bernes, C. 2003. En varmare värld: växthuseffekten och klimatets förändringar. Naturvårdsverket.

Stockholm.

- Castro-Diez, P., R. Milla-Gutierrez, and G. Montserrat-Marti. 2003. Comparison of methods to study plant phenological patterns. The case of *Halimium Atriplicifolium* (Cistaceae). *Phyton-Annales Rei Botanicae*, 43: 59-78.
- Cannell, M. G. R., and R. I. Smith. 1983. Thermal time, chill days and prediction of budburst in *Picea-Sitchensis*. *Journal of Applied Ecology*, 20: 951-963.
DOI: 10.2307/2403139
- Chuine, I., P. Cour, and D. D. Rousseau. 1998. Fitting models predicting dates of flowering of temperate-zone trees using simulated annealing. *Plant Cell and Environment*, 21: 455-466. DOI: 10.1046/j.1365-3040.1998.00299.x
- Cleland, E. E., I. Chuine, A. Menzel, H. A. Mooney, and M. D. Schwartz. 2007. Shifting plant phenology in response to global change. *Trends in Ecology & Evolution*, 22: 357-365. DOI: 10.1016/j.tree.2007.04.003
- Dahl, Å., Bolmgren, K., Langvall, O. 2008. Se klimatförändringen med egna ögon gör fenologiska observationer. *Svensk Botanisk Tidskrift*, 102.1.
- Gu, L., Post, W.M., Baldocchi, D., Black, T.A., Verma, S.B., Vesala, T. and Wofsy, S.C. (2003a). Phenology of vegetation photosynthesis. In: Schwartz, M.D. (Ed.) *Phenology: An Integrated Environmental Science*. Kluwer, Dordrecht, pp. 467–485.
- Haylock, M.R., N. Hofstra, A.M.G. Klein Tank, E.J. Klok, P.D. Jones, M. New. 2008: A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation. *J. Geophys. Res (Atmospheres)*, 113, D20119, doi:10.1029/2008JD10201
- Hunter, A. F., and M. J. Lechowicz. 1992. Predicting the timing of budburst in temperate trees. *Journal of Applied Ecology*, 29: 597-604. DOI: 10.2307/2404467
- Hänninen, H. 1990. Modeling bud dormancy release in trees from cool and temperate regions. *Acta Fohöstvilaalia Fennica*, 213: 1-47.
- Hänninen, H. 1995. Effects of climatic change on trees from cool and temperate regions- an Ecophysiological approach to modeling of bud burst phenology. *Canadian Journal of Botany-Revue Canadienne De Botanique*, 73: 183-199.
- Kobayashi, K. D., L. H. Fuchigami, and M. J. English. 1982. Modeling temperature requirements for autumn rest in *Cornus-Sericea*. *Journal of the American Society for Horticultural*

- Science*, 107: 914-918.
- Kramer, K. 1994a. A modeling analysis of the effects of climatic warming on the probability of spring frost damage to tree species on the Netherlands and Germany. *Plant Cell and Environment*, 17: 367-377. DOI: 10.1111/j.1365-3040.1994.tb00305.x
- Kramer, K. 1994b. Selecting a model to predict the onset of growth of *Fagus-Sylvatica*. *Journal of Applied Ecology*, 31: 172-181. DOI: 10.2307/2404609
- Kramer, K., and H. Hänninen. 2009. The Annual Cycle of Development of Trees and Process Based Modelling of Growth to Scale Up From the Tree to the Stand.
- Kramer, K., B. Degen, J. Buschbom, T. Hickler, W. Thuiller, M. T. Sykes, and W. de Winter. 2010. Modelling exploration of the future of European beech (*Fagus sylvatica* L.) under climate change-Range, abundance, genetic diversity and adaptive response. *Fohöstvila Ecology and Management*, 259: 2213-2222. DOI: 10.1016/j.foreco.2009.12.023
- Lang, G. A. 1987. Dormancy – a new universal terminology. *Hortscience*, 22: 817-820.
- Linkosalo, T., H. K. Lappalainen, and P. Hari. 2008. A comparison of phenological models of leaf bud burst and flowering of boreal trees using independent observations. *Tree Physiology*, 28: 1873-1882.
- Menzel, A., and P. Fabian. 1999. Growing season extended in Europe. *Nature*, 397: 659-659. DOI: 10.1038/17709
- Menzel, A., N. Estrella, and C. Schleip. 2008. Impacts of climate variability, trends and NAO on 20th century European plant phenology. *Climate Variability and Extremes during the Past 100 Years*. Volume 33, 2008, pp 221-233
- Reaumur, R.A.F.D. 1735. Observations du thermomètre, faites à Paris pendant l'année 1735, comparées avec celles qui ont été faites sous la ligne, à l'isle de France, à Alger et quelques unes de nos isles de l'Amérique. Mem. Paris Acad. Sci. 1735 545 ff.
- Richardson, A. D., A. S. Bailey, E. G. Denny, C. W. Martin, and J. O'Keefe. 2006. Phenology of a northern hardwood fohöstvila canopy. *Global Change Biology*, 12: 1174-1188. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2006.01164.x
- Sarvas, R. 1974. Investigations on the annual cycle of development of fohöstvila trees. II. Autumn dormancy and winter dormancy. *Metsantutkimuslaitoksen Julkaisuja*, 84: 101 pp.
- Schaber, J., and F. W. Badeck. 2003. Physiology-based phenology models for tree

species in Germany. *International Journal of Biometeorology*, 47: 193-201. DOI: 10.1007/s00484003-0171-5

Schwartz, M. D. 1997. Spring index models: An approach to connecting satellite and surface phenology. In *Progress in Biometeorology; Phenology in seasonal climates, I*, eds. H. Lieth, and M. D. Schwartz, 23-38 pp.: Backhuys Publishers {a}, P. O. Box 321, 2300 AH, Leiden, The Netherlands.

SMHI. Erik Kjellström, Ulf Hansson, Colin Jones, Grigory, Nikulin, Gustav Strandberg and Anders Ullerstig: Changes in the wintertime temperature climate as deduced from an ensemble of regional climate change simulations for Europe Rossby Centre Newsletter, May 2009, s.9-15.

<http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.2923!RCnews_may_2009.pdf>

Steffensen, P. 1996. Standard normal homogeneity test for Windows. User guide. Technical Report 96–13, Danish Meteorological Institute, Copenhagen

Wareing, P. F. 1953. Growth studies in woody species .5. Photoperiodism in dormant buds of *Fagus-Sylvatica* L. *Physiologia Plantarum*, 6: 692 706. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1953.tb08442.x

Wareing, P. F. 1969. Control of dormancy. *XI International Botanical Congress*: 233.

Elektroniska referenser

Bolmgren, K. 2009. Fenologi – naturens tidsmönster. SMHI. Tillgänglig på

<http://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/fenologi-naturens-tidsmonster-1.5189>

(Hämtad: 2014-04-01)

Dahl. Å., Blomgren, K., Langvall. O. 2008. Se klimatförändringen med egna ögon- gör fenologiska observationer. Svensk Botanisk Tidskrift, 102.1. Tillgänglig på:

[https://arbetsplats.slu.se/sites/esf/SWE-NPN/Arnellpublikationer/Dahl-](https://arbetsplats.slu.se/sites/esf/SWE-NPN/Arnellpublikationer/Dahl-etal_SBT_2008.pdf)

[etal_SBT_2008.pdf](https://arbetsplats.slu.se/sites/esf/SWE-NPN/Arnellpublikationer/Dahl-etal_SBT_2008.pdf) (Hämtad 2014-04-14)

Naturhistoriska riksmuseet. 1997. Hägg-*Prunus padus* L. Tillgänglig på:

<http://linnaeus.nrm.se/flora/di/rosa/prunu/prunpad.html> (Hämtad 2014-05-02)

NCSS. 2012. Lin's Concordance Correlation Coefficient. Tillgänglig på:

- http://ncss.wpengine.netdna-cdn.com/wp-content/themes/ncss/pdf/Procedures/PASS/Lins_Concordance_Correlation_Coefficient.pdf (Hämtad: 2014-05-15)
- SMHI. 2011. Klimatindikatorer. Tillgänglig på <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/klimatindikatorer-1.7050>. (Hämtad: 2014-04-08)
- SMHI. 2012. Klimatanalys för Skåne län. Tillgänglig på http://www.lansstyrelsen.se/skane/SiteCollectionDocuments/Sv/miljo-och-klimat/klimatochenergi/klimatanpassning/kunskapsunderlag/SMHI_klimatanalys_2012.pdf (Hämtad: 2014-05-12)
- SkogsSverige. 2012. Svenska träd. Tillgänglig på <http://skogssverige.se/node/38368> (Hämtad: 2014-05-02)
- Skogsstyrelsen. 2014. Ädellövskog. Tillgänglig på: <http://www.skogsstyrelsen.se/Upptack-skogen/Upplev-skogen/Om-skogen/Skogsmiljoer/Adellovskog/> (Hämtad: 2014-03-23)
- Svenska fenologinätverket. 2014. Fenologimanual – instruktioner för växtfenologiska observationer. SLU, Sveriges lantbruksuniversitet. Tillgänglig på: <https://arbetsplats.slu.se/sites/esf/SWE-NPN/Manualer%20mm/fenologimanual.pdf> (Hämtad: 2014-05-26)
- Watson, F. A. 2010. Bird Cherry. Tillgänglig på: http://www.treesforlife.org.uk/forest/species/bird_cherry.html (Hämtad: 2014-04-08)
- WoodlandTrust. 2014. <http://www.woodlandtrust.org.uk/learn/recording-trees-and-nature/natures-calendar/what-is-phenology/> (Hämtade: 2014-04-02)

Institutionen för naturgeografi och ekosystemvetenskap, Lunds Universitet.

Student examensarbete (Seminarieuppsatser). Uppsatserna finns tillgängliga på institutionens geobibliotek, Sölvegatan 12, 223 62 LUND. Serien startade 1985. Hela listan och själva uppsatserna är även tillgängliga på LUP student papers (www.nateko.lu.se/masterthesis) och via Geobiblioteket (www.geobib.lu.se)

The student thesis reports are available at the Geo-Library, Department of Physical Geography and Ecosystem Science, University of Lund, Sölvegatan 12, S-223 62 Lund, Sweden. Report series started 1985. The complete list and electronic versions are also electronic available at the LUP student papers (www.nateko.lu.se/masterthesis) and through the Geo-library (www.geobib.lu.se)

- 285 Cansu Karsili (2013) Calculation of past and present water availability in the Mediterranean region and future estimates according to the Thornthwaite water-balance model
- 286 Elise Palm (2013) Finding a method for simplified biomass measurements on Sahelian grasslands
- 287 Manon Marcon (2013) Analysis of biodiversity spatial patterns across multiple taxa, in Sweden
- 288 Emma Li Johansson (2013) A multi-scale analysis of biofuel-related land acquisitions in Tanzania - with focus on Sweden as an investor
- 289 Dipa Paul Chowdhury (2013) Centennial and Millennial climate-carbon cycle feedback analysis for future anthropogenic climate change
- 290 Zhiyong Qi (2013) Geovisualization using HTML5 - A case study to improve animations of historical geographic data
- 291 Boyi Jiang (2013) GIS-based time series study of soil erosion risk using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) model in a micro-catchment on Mount Elgon, Uganda
- 292 Sabina Berntsson & Josefin Winberg (2013) The influence of water availability on land cover and tree functionality in a small-holder farming system. A minor field study in Trans Nzoia County, NW Kenya
- 293 Camilla Blixt (2013) Vattenkvalitet - En fältstudie av skånska Säbybäcken
- 294 Mattias Spångmyr (2014) Development of an Open-Source Mobile Application for Emergency Data Collection
- 295 Hammad Javid (2013) Snowmelt and Runoff Assessment of Talas River Basin Using Remote Sensing Approach
- 296 Kirstine Skov (2014) Spatiotemporal variability in methane emission from an Arctic fen over a growing season – dynamics and driving factors
- 297 Sandra Persson (2014) Estimating leaf area index from satellite data in deciduous forests of southern Sweden
- 298 Ludvig Forslund (2014) Using digital repeat photography for monitoring the regrowth of a clear-cut area
- 299 Julia Jacobsson (2014) The Suitability of Using Landsat TM-5 Images for Estimating Chromophoric Dissolved Organic Matter in Subarctic Lakes
- 300 Johan Westin (2014) Remote sensing of deforestation along the trans-Amazonian highway
- 301 Sean Demet (2014) Modeling the evolution of wildfire: an analysis of short

- term wildfire events and their relationship to meteorological variables
- 302 Madelene Holmblad (2014). How does urban discharge affect a lake in a recreational area in central Sweden? – A comparison of metals in the sediments of three similar lakes
- 303 Sohidul Islam (2014) The effect of the freshwater-sea transition on short-term dissolved organic carbon bio-reactivity: the case of Baltic Sea river mouths
- 304 Mozafar Veysipanah (2014) Polynomial trends of vegetation phenology in Sahelian to equatorial Africa using remotely sensed time series from 1983 to 2005
- 305 Natalia Kelbus (2014) Is there new particle formation in the marine boundary layer of the North Sea?
- 306 Zhanzhang Cai (2014) Modelling methane emissions from Arctic tundra wetlands: effects of fractional wetland maps
- 307 Erica Perming (2014) Paddy and banana cultivation in Sri Lanka - A study analysing the farmers' constraints in agriculture with focus on Sooriyawewa D.S. division
- 308 Nazar Jameel Khalid (2014) Urban Heat Island in Erbil City.
- 309 Jessica Ahlgren & Sophie Rudbäck (2014) The development of GIS-usage in developed and undeveloped countries during 2005-2014: Tendencies, problems and limitations
- 310 Jenny Ahlstrand (2014) En jämförelse av två riskkarteringar av fosforförlust från jordbruksmark – Utförda med Ekologgruppens enkla verktyg och erosionsmodellen USPED
- 311 William Walker (2014) Planning Green Infrastructure Using Habitat Modelling. A Case Study of the Common Toad in Lomma Municipality
- 312 Christiana Marie Walcher (2014) Effects of methane and coastal erosion on subsea-permafrost and emissions
- 313 Anette Fast (2014) Konsekvenser av stigande havsnivå för ett kustsamhälle- en fallstudie av VA systemet i Beddingestrand
- 314 Maja Jensen (2014) Stubbrytningens klimatpåverkan. En studie av stubbrytningens kortsiktiga effekter på koldioxidbalansen i boreal barrskog
- 315 Emelie Norhagen (2014) Växternas fenologiska svar på ett förändrat klimat - modellering av knoppsprickning för hägg, björk och asp i Skåne